

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta textilní**

**Mechanická textilní technologie**

**Katedra textilních technologií**

## **TŘECÍ VLASTNOSTI DÉLKOVÝCH TEXTILIÍ**

## **FRICTIONAL PROPERTIES OF YARNS**

Vypracovala: Yevheniya Polyak

Vedoucí práce: Prof. Ing. Radko Kovář, CSc.

### **Rozsah práce:**

Počet stránek textu: 28

Počet obrázků: 15

Počet grafů: 13

Počet tabulek: 3

Počet příloh: 1

## **Prohlášení**

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci 2007

.....  
Yevheniya Polyak

**Na tomto místě bych ráda poděkovala Prof. Ing. Radko Kovářovi, CSc. za vedení této bakalářské práce a cenné připomínky, za všestrannou pomoc a ochotu při provádění experimentů, a taky za pomoc při vyhodnocení experimentu.**

**Anotace:**

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat třecí vlastnosti délkových textilií, navrhnout metodu měření vzájemného tření nití, výrobu jednoduchého měřicího zařízení k určování koeficientu tření.

Dalším cílem bylo vyhodnotit různé proměnné, které ovlivňují součinitel tření.

**Annotation:**

The aim of this bachelor thesis was to analyze frictional properties of linear textile, to propose method of measurement of yarn to yarn friction, to design a simple measuring device for determination of friction coefficient.

Next aim was evaluation of different variables that influences friction coefficient.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRÁTEK, ZNAČEK A SYMBOLŮ

např. – například

tzv. – tak zvaný

obr. – obrázek

tab. – tabulka

SSE – Stick – slip efekt

$f$  – součinitel smykového tření

$F$  – síla [N]

$F_t$  – třecí síla [N]

$F_n$  – kolmá tlaková síla mezi tělesy [N]

$F_v$  – třecí síla valivého tření [N]

$F_o$  – napínací síla před tělesem [N]

$R$  – poloměr tělesa [1]

$\xi$  – rameno valivého odporu [m]

$f_a$  – součinitel tření opásáním [1]

$\alpha$  – úhel opásání [rad]

$m$  – hmotnost tělesa [kg]

$v$  – rychlost [ $\text{ms}^{-1}$ ]

CV – variační koeficient [%]

## OBSAH:

1. Úvod .....	8
2. Rešeršní část .....	10
2.1. Délková textilie .....	10
2.2. Tření .....	10
2.2.1. Typy tření .....	11
2.2.2. Tření smykové .....	12
2.2.3. Valivé tření .....	13
2.2.4. Tření opásáním .....	14
2.2.5. Stick-slip efekt .....	14
2.3. Tření v textilu .....	15
2.3.1. Uplatnění tření nití: .....	17
2.3.2. Vlivy ovlivňující velikost tření .....	17
3. Experimentální část .....	19
3.1. Měřicí metoda .....	19
3.1.1. Měření třecího odporu nítě o nit. ....	19
3.1.2. Měření koeficientu tření na dynamometru .....	19
3.1.3. Měření Eulerova tření na dynamometru .....	20
3.1.4. Měření Eulerova tření příze mezi dvěma kladkami .....	21
3.2. Vlastní měření .....	22
3.2.1. Návrh experimentu .....	22
3.2.2. Použitý materiál .....	24
3.2.3. Postup měření .....	24
3.3. Výsledky experimentů .....	25
4. Závěr .....	35
Seznam použité literatury .....	36
Příloha .....	37

# 1. Úvod

Jedním z důležitých poloproduktů textilní výroby je délková textilie. Kvůli specifickým zvláštnostem své struktury je úspěšně využívána ve výrobě tkanin, pletenin i pletotkaných textilií. Struktura příze se vytváří při její výrobě, a proto zvolená technologie výroby je pro strukturu příze a tím i plošné textile určující. Pro příze mají značný význam mechanické vlastnosti vláken. Podskupinu mechanických vlastností tvoří tření.

Na první pohled není tření žádoucím jevem, protože zmenšuje efektivnost pohybů. Ve skutečnosti si však život bez tření nedokážeme představit. Tření provází veškeré vzájemné působení všech těles v přírodě, která přijdou spolu do kontaktu. Tření je neoddělitelnou součástí našeho života, protože doprovází jak relativní klid, tak i pohyb těles, tedy i lidského těla. Hlavní zákony tření formulovaly Amonton, Coulomb, Euler a další.

Tření je mechanický odpor působící proti pohybu pevného tělesa, které je v dotyku s jiným pevným tělesem nebo s tekutinou. Tření způsobuje na straně jedné opotřebení materiálů, čímž omezuje životnost a zvyšuje provozní náklady, na straně druhé by se bez něj neobešly žádné třecí mechanismy. Za třecí mechanismus lze v určitém slova smyslu považovat i textile. Vliv tření mezi vlákny na trvalé deformace textilií je důležitou informací pro konstrukce textilních výrobků.

Součinitel tření je důležitou, i když zanedbávanou charakteristikou jak délkových tak i plošných textilií, a je významnou povrchovou charakteristikou látek, která se projevuje při využívání délkových textilií při tkaní, pletení, šití, u plošných při nošení a při technickém použití.

Velikost třecí síly definujeme pomocí koeficientu tření. Čím je větší koeficient tření, tím je větší i samotné tření. Velikost koeficientu tření výrazně ovlivňuje úroveň zpracovatelnosti textilního materiálu a následně i užité vlastnosti hotového výrobku.

V textilním odvětví má tření ve více případech záporný vliv, proto je cílem koeficient tření snižovat. Toho se docílí pomocí různých úprav povrchů textilních a netextilních materiálů.

## Cíl

Cílem bakalářské práce je analyzovat třecí vlastnosti délkových textilií, navrhnout a vyzkoušet experimentální zjišťování vzájemného tření nití metodami, které zatím na TUL nebyly vyzkoušeny.

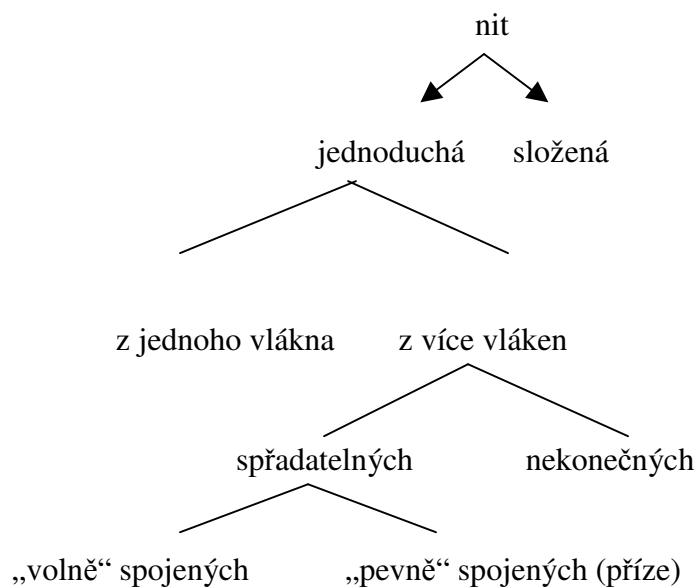
V bakalářské práci je sledován vliv hlavních proměnných parametrů délkové textilie (např. materiálového složení) a experimentu (např. vstupního tahu nitě) na třecí odpor.



## 2. Rešeršní část

### 2.1. Délková textilie

Příze je délková textilie složená ze spřadatelných vláken, zpevněná zákrutem nebo pojením tak, že při přetrhu příze dochází i k přetrhu jednotlivých vláken. Obecnějším pojmem je nit.



Obr.1 Rozdělení nití

Příze je významným poloproduktem textilní výroby. Vlákná v přízi mohou být spojena adhezivem (lepená příze) či třecími silami vzájemného provázání. [1]

### 2.2. Tření

Třecí síla je v životě velmi podstatná. Bez ní by člověk nemohl například chodit, nemohla by existovat auta a oblečení by se rozložilo na jednotlivá vlákna.

Z vlastní zkušenosti víme, že tření působí proti síle způsobující pohyb. Síla se dá ovlivnit zase jen silou. Tření je tedy jev spojený se silovým účinkem. Proto mluvíme o třecí síle nebo – protože klade odpor – o třecím odporu. Tím mimochodem dospíváme k

poznatku, že i odpor se projevuje silou (odporovou silou). Třecí síla vystupuje všude, kde se dostanou do styku dvě tělesa pohybující se různými směry. Jinak řečeno, třou-li se dvě tělesa o sebe, vzniká třecí síla. Je lhostejné, pohybují-li se přitom obě tělesa nebo jen jedno.

Je nám jasné, že třecí síla vzniká jako nová forma stejně velké, avšak zanikající jiné síly. Není ukryta v žádném tělese a nečeká, až ji někdo vyvolá. Naši předkové rychle třeli hůlku z tvrdého dřeva o kus měkkého dřeva. Tření vznikalo z té části síly, která vrtěla hůlkou, a zcela podle programu se projevilo silou odporující pohybu. Mechanická energie se naproti tomu změnila v teplo a vznikl oheň. Tak přechází neustále jedna síla (forma energie) v druhou.

Hlavní příčinou vzniku třecí síly je vzájemné působení elementárních částic hmoty ve styčných plochách (přitažlivé a odpudivé síly mezi molekulami a atomy). Třecí odpor je zároveň ovlivňován nerovnostmi styčných ploch, které do sebe zapadají, zachycují se a tím mění vzájemné silové působení.

### 2.2.1. Typy tření

Z fyzikálního hlediska rozlišujeme tření na:

- dynamické
- statické

Podle způsobu tření rozdělujeme na:

- smykové, jehož zvláštní variantou je tření opásáním
- valivé [2]

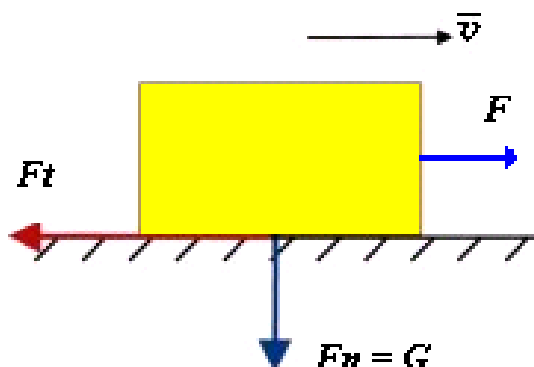
Pro zjišťování velikosti třecí síly stanovujeme koeficient smykového tření, obecně označovaný jako  $f$ , který charakterizuje velikost tření poměrným (bezrozměrným) způsobem [1]. Hodnota koeficientu tření nám udává velikost třecího odporu. Na základě zjištění velikosti koeficientu tření je možné určit technologii výroby nebo ovlivnit celkové využití konkrétního textilního materiálu a jeho zhodnocení konečným spotřebitelem.

Pokud se má pohybovat jedno těleso po druhém, je k tomu zapotřebí síly. Teprve když vnější síla dosáhne určité hranice, dostane se těleso do pohybu. Tato síla určuje velikost tření v klidu, což je označováno jako **tření statické**.

**Tření dynamické** určuje sílu potřebnou k udržení rovnoměrného pohybu. [3]

### 2.2.2. Tření smykové

Smykové tření je fyzikální jev, který vzniká při posouvání (smýkání) jednoho tělesa po povrchu jiného tělesa. Jeho původ je především v nerovnosti obou styčných ploch, kterými se tělesa vzájemně dotýkají. Nerovnosti povrchů při posouvání těles na sebe vzájemně narážejí, deformují se a obrušují. Tak vzniká třecí síla  $F_t$ , jejíž působíště je na stykové ploše obou těles a jejíž směr míří vždy proti směru rychlosti tělesa.



Obr. 2 Tření smykové

$F$  ..... tahová síla působící na těleso [N]  
 $F_t$  ..... třecí síla smykového tření [N]  
 $F_n$  ..... kolmá tlaková síla, kterou působí těleso na podložku [N]

#### Vlastnosti třecí síly:

1. Velikost  $F_t$  nezávisí na obsahu styčných ploch
2. Velikost  $F_t$  nezávisí na velikosti rychlosti
3. Velikost  $F_t$  závisí na jakosti styčných ploch (tzn, koeficient smykového tření)
4. Velikost  $F_t$  je přímo úměrná  $F_n$

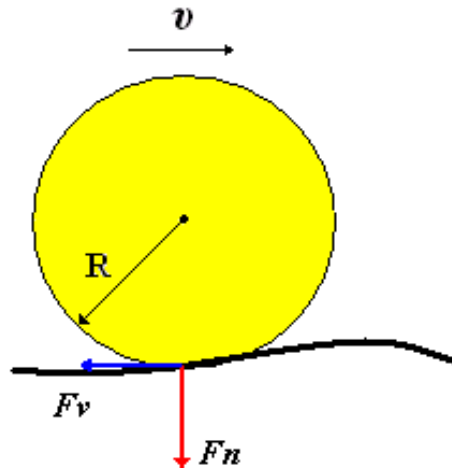
Pro velikost třecí síly smykového tření tedy platí:

$$F_t = f \cdot F_n \quad (1)$$

Koeficient (součinitel) smykového tření  $f$  je bezrozměrná veličina, závislá na jakosti styčných ploch.

### 2.2.3. Valivé tření

Vzniká tehdy, když se pevné těleso kruhového průřezu valí po pevné podložce (obr. 3)



Obr. 3: Valivé tření

$F_v$  ..... třecí síla valivého tření [N]

$F_n$  ..... kolma tlaková síla [N]

$R$  ..... poloměr tělesa

Příčinou je stlačování a deformace podložky a valícího se tělesa. Pokusně bylo zjištěno, že pro velikost  $F_v$  platí:

$$F_v = \xi \frac{F_n}{R} \quad (2)$$

kde  $\xi$  (ksí) je rameno valivého odporu,  $\xi = [\text{m}]$

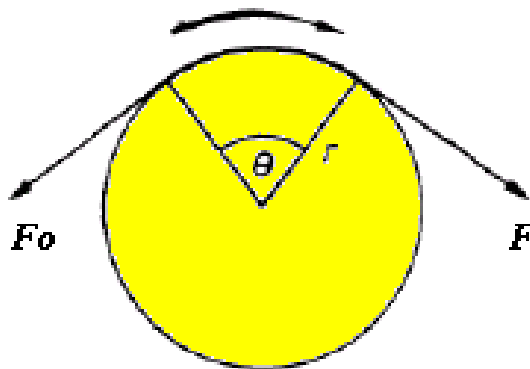
Hodnota  $\xi$  závisí na materiálu tělesa a podložky a na úpravě jejich povrchů

$$\text{Platí } F_v \ll F_t$$

Ve většině případů je součinitel valivého tření mnohem menší než součinitel smykového tření za klidu.

#### 2.2.4. Tření opásáním

Tření opásáním nazýváme též Eulerovo tření. Jde o tření opáсанých předmětů kruhového průřezu. Jedná se o zvláštní variantu tření smykového.



Obr. 4 Tření opásáním

Pro vyšetřování tření opásáním používáme Eulerova vztahu:

$$F = F_0 \times e^{af} \quad (3)$$

$F$ ..... třecí síla za třecím tělesem [N]

$F_0$  ..... napínací síla před tělesem [N]

$f$ ..... součinitel tření opásáním [1]

$\alpha$ ..... úhel opásání [rad]

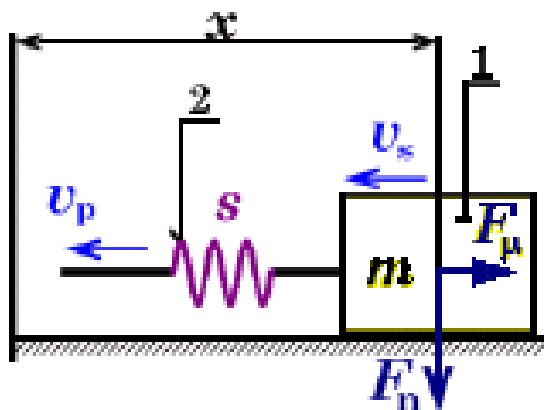
[5], [6]

#### 2.2.5. Stick-slip efekt

Jak už bylo popsáno, existují dva koeficienty tření – statický koeficient tření, při klidu obou smykajících se těles, a dynamický koeficient tření při relativním pohybu smykajících se těles. Statický koeficient tření bývá zpravidla větší, což vede ke vzniku takzvaného Stick and Slip efektu. [7]

Stick-slip efekt (SSE, který se překládá jako „smyčcový efekt“) je způsoben vzájemným třením mezi dvěma povrchy různého charakteru. Materiály, které se o sebe třou se nejprve na sebe přilepí a následně uklouznou, přitom dojde ke změně třecí síly.

Typické pro stick-slip efekt je, že součinitel statického tření mezi dvěma povrchy je větší než součinitel vlečného tření. Jestliže aplikovaná síla je dostatečně velká k tomu, aby překonala statické tření, pak se zmenší statické tření oproti vlečnému tření. Změna velikosti tření způsobit náhlý skok v rychlosti pohybu. [8]



Obr. 6 Nákres Stick – slip efektu

Rychlost pohonu  $v_p$  je konstantní, rychlost smýkání  $v_s$  třecího tělesa 1 může být díky deformaci pružiny 2 o tuhosti  $s$  jiná ( $v_p \neq v_s$ ). Pokud je těleso 1 v klidu, pružina se protahuje a akumuluje energii až do okamžiku překonání statického třecího odporu. Poté těleso proklouzne a při splnění jistých podmínek se opět zastaví a celý popsáný proces se bude opakovat – dojde k tzv. „Stick-Slip“ efektu. [9]

Možné příčiny „Stick-slip“ efektu:

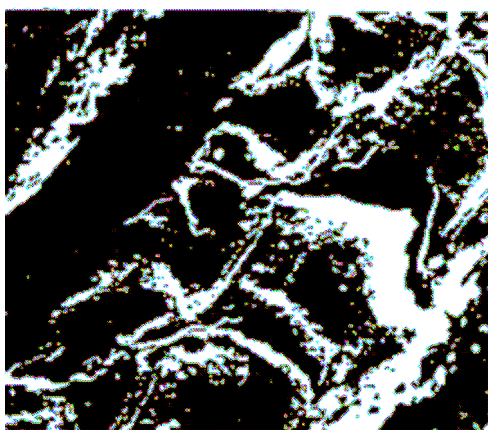
- **Nanoúroveň** - vazby na meziatomové a mezimolekulární úrovni (nanotribologie – i předávání atomů)
- **Mikroúroveň** - mikrostruktura povrchu. Vliv na proudění, plochu skutečného kontakt.
- **Makroúroveň** - chlupatost, skaná nit, reliéf tkaniny a pleteniny apod.

### 2.3. Tření v textilu

V současné době se tření uplatňuje stále v textilním průmyslu. Součinitel tření je důležitou charakteristikou jak délkových, tak plošných textilií. U délkových hraje důležitou roli při vytváření plošných textilií, při technologických operacích a při technologickém

zpracování přízí. U plošných textilií pak vytváří pocit komfortu při jejich nošení a ovlivňuje spotřebitelskou životnost výrobků, jelikož způsobuje takové efekty, jako je plstnatění, oděr, otěr apod., což samozřejmě snižuje kvalitu výrobků a ovlivňuje také výrobu textilií. [10]

Třecí vlastnosti textilií jsou velmi důležité a to jak při výrobě oděvů a textilních produktů, tak i při jejich používání a nošení. Někdy může být vysoké tření mezi tkaninami požadované, v jiných případech nízké tření zajišťuje příjemný pocit.



Obr. 5 Povrch vlákna po tření

Textilní materiály se chovají jako elasticko – plasticky poddajné. Jejich „specialitou“ je proměnlivost hodnot součinitele tření, k čemuž dochází vlivem kolísání přtlaku i smýkající rychlosti. Deformaci textilního materiálu doprovázejí současně ztráty energie, rozptylující se v okolí kontaktu ve formě tepla. V extrémním případě, kdy okolní prostředí třecího kontaktu neodvádí veškeré vzniklé teplo, dochází ke zvyšování teploty textilního materiálu právě v místě kontaktu, a tím ke změně elasticko – plastických vlastností. Ke tření u textilií dochází na relativně malých plochách, zejména pak u vláken a přízí, a již při malých hodnotách působících sil dochází k pomalým pohybům.

Výzkum třecích vlastností v oblasti textilu řeší zejména závislost velikosti třecí síly na relativním pohybu vláknenných útvarů (nití) při tkacím procesu. V tomto ohledu nerovnosti a drsnosti povrchů nití hrají nezanedbatelnou roli, neboť při jejich vzájemném

stlačení, ke kterému v procesu tkaní neustále dochází, a následnému pohybu po sobě, vzniká odpor vůči vzájemnému smýkání.

Na třecí odpor nemá vliv jen struktura tkaniny, ale také použitá příze. Skutečný celkový kontakt tkanin je také tvořen mnoha vzájemnými kontakty vláken. Během procesu tření jsou vnější plochy vláken deformovány a mění svou geometrii.[9], [11]

Velikost koeficientu tření ovlivňuje některé vlastnosti textilií. Velký vliv má především na žmolkovitost. Vše začíná již na počátku při výrobě příze, a pak následně při výrobě plošné textilie. Vysoká hodnota koeficientu tření přispívá k soudržnosti vláken v přízi, znesnadňuje migrace volných konců vláken na povrchu látky, a tím snižuje možnost vytváření žmolků na povrchu plošné textilie. Pokud však bude síla tření vyšší než pevnost vláken, bude docházet k přetrhávání vláken, a tím vzniknou nové konce, které budou migrovat na povrchu, což povede k chlupatosti. [12]

V textilní praxi nás zajímá jak tření statické, tak dynamické. Statické tření mezi vlákny určuje např. pevnost příze, zatímco dynamický koeficient tření ovlivňuje výrazně zpracovatelské vlastnosti.

### **2.3.1. Uplatnění tření nití:**

- při technologii spojování v plošnou textilií;
- při tvorbě vazného bodu;
- při odvíjení nitě z cívky;
- při přípravářských operacích;
- ovlivňuje další vlastnosti textilií (pevnost, tažnost) apod.

### **2.3.2. Vlivy ovlivňující velikost tření**

Jelikož se velikost třecí síly mění s různým materiálem, povrchovou úpravou, průměrem nitě a s dalšími vlastnostmi, je potřebné zjistit, jak tyto vlastnosti tření ovlivňují.

- Úhel opásání – u většího úhlu opásání vzniká větší třecí síla.
- Materiál třecího tělesa – musí být odolné vůči vysokým teplotám a oděru, vhodně zvolený materiál snižuje koeficient tření.



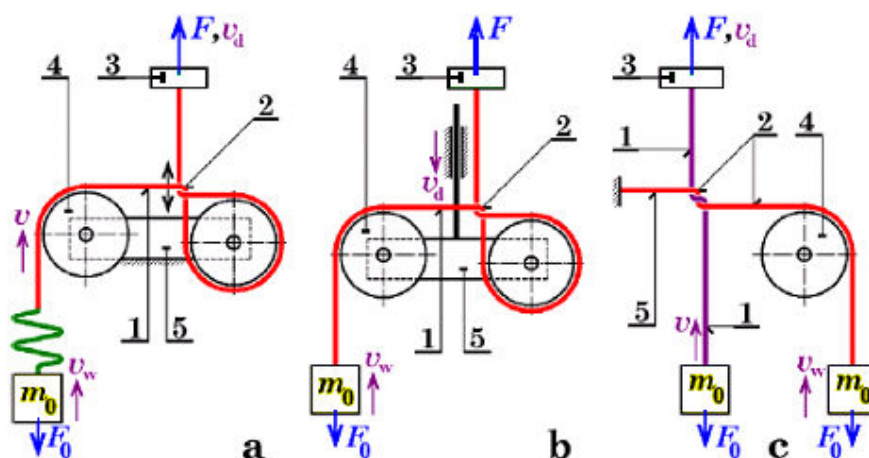
- Reálná plocha kontaktů mezi tělesy – čím je větší plocha kontaktů, tím je větší třecí síla.
- Materiál nitě – každý materiál má rozdílnou tuhost, která ovlivňuje velikost mezivláčenného tření a různou viskoelasticitu způsobující časový posun změn chování nitě při pohybu.
- Tuhost nitě – ideálně ohebná nit dokonale kopíruje válcové těleso, tuhá (málo ohebná) nit opásává těleso pod menším úhlem. Tuhá nit se vlivem většího odporu ohne méně, úhel opásání je u tužší příze menší.
- Zákrut – větší zákrut znamená, větší tuhost nitě a větší nerovnosti povrch, což vede k větší frekvenci odskoků nitě od třecího tělesa.
- Preparace nitě, povrchová úprava – vlivem preparace nitě dochází k cílené změně třecích vlastností, díky vhodně zvolené preparaci dojde ke snížení koeficientu tření až na polovinu, zlepší se kluzné vlastnosti povrchu nitě.
- Vliv rychlosti – při větší rychlosti bude nit klást větší odpor proti deformaci, což se projeví zmenšením úhlu opásání a zvětšením třecího odporu.
- Odstávající vlákna – zapříčiňují zvětšení úhlu opásání a nárůst tahové síly. Při malé rychlosti nitě působí odstávající vlákna proti směru pohybu nitě, u vyšší rychlosti pohybu nitě se vlivem působení vzduchu vlákna ohnou a tím je odporová síla odstávajících vláken nižší.
- Rozběh a doběh nitě – statický koeficient tření je vyšší než dynamický. Při rozběhu dochází k poklesu koeficientu tření.
- Deformace nitě v podélném směru – vlákna se přibližují, zmenšení průměrů nitě, zvětšení zaplnění, zvýšení tuhosti nitě, zvýšení vnitřního tření, změna smykového tření vláken.  
Deformace příze v příčném směru - změna průřezu a zvětšení styčné plochy.
- Klimatické podmínky – vlivem různých klimatických podmínek se mění povrch dotýkajících se materiálů a tím i jejich chování, nejvíce má vliv na změnu povrchů teplota a vlhkost. [13]

### 3. Experimentální část

#### 3.1. Měřicí metoda

##### 3.1.1. Měření třecího odporu nitě o nit.

Na obr 6 a jsou znázorněny některé experimenty měření tření nitě o nit. Na obr. a je nit 1 vedena přes dvojici kladek se zanedbatelným třecím odporem 4 tak, aby vytvořila cosi jako vazný bod pleteniny 2. Třecí místo 2 se může pohybovat nahoru a dolů, což umožní SSE i když mezi ním a čidlem 3 není pružina.



Obr. 6 Měření třecího odporu nitě o nit

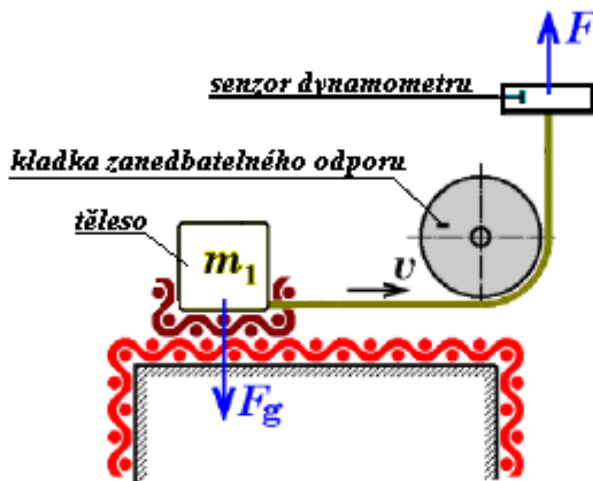
Na obr. 6 b je podobné uspořádání, poháněny jsou ale kladky 4 na desce 5, senzor síly 3 je v klidu. Průměrná rychlost pohybu hmoty  $m_0$  je rovněž nulová, okamžitá rychlost ale bude vlivem SSE proměnlivá. Na obr. 6 c je experiment, který používá celý zákrut dvou nití. Předpětí je zajišťováno dvojicí závaží. [14]

##### 3.1.2. Měření koeficientu tření na dynamometru

Obr. 7 znázorňuje jedno z možných variant měření tření pomocí dynamometru INSTRON. V tomto případě je třecí těleso, na kterém je připevněna tkanina, taženo po podložce. Normálová síla  $F_g$  [N] se stanoví z hmotnosti tělesa  $m$  [kg], vzorek je tažen lanem, které musí mít nízkou osovou deformovatelnost. Lano prochází přes kladku zanedbatelného odporu, která mění směr výsledné síly, síla  $F$  [N] je měřena senzorem dynamometru. Rychlost skluzu a rychlost pohonu je při tomto měření stejná:

$$v_s = v_d = v \quad (4)$$

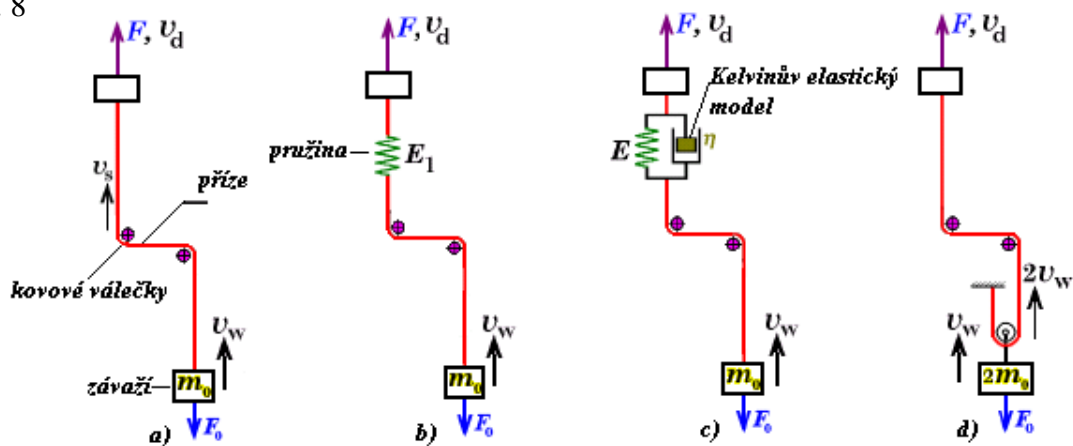
Metoda je tedy vhodná na měření statického koeficientu tření.



Obr. 7 Měření koeficientu tření na dynamometru

### 3.1.3. Měření Eulerova tření na dynamometru

Přístroje zkoumají vzorek ve tvaru pásu nebo příze vzájemně obepínající válcový povrch, jenž může rotovat. V případě, že válec nekoná pohyb, obepínající příze je protahována válcem nebo válcem odtahovou silou, tu může vyvíjet například dynamometr. Tyto metody jsou častěji než u plošných textilií používány k měření koeficientu tření u přízí a vláken, jsou vhodné například k modelování tření mezi pletacími jehlami a přízí, obr. 8

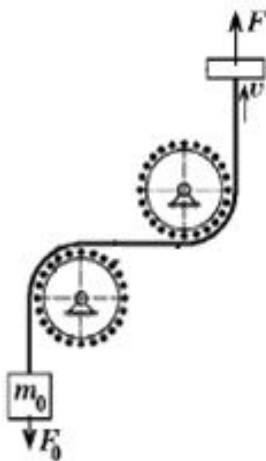


Obr. 8 Měření Eulerova tření na dynamometru

Příze prochází přes dva kovové válečky, celkový úhel opásání je  $\pi$  ( $2 \times 90$ ), vstupní sílu  $F_0$  [N] vytváří tíha závaží  $m_0$  [kg]. Výstupní síla  $F$  [N] je měřena dynamometrem INSTRON, pro možnost změny rychlosti skluzu a pro měření stick and slip efektu, je nezbytný nějaký pružný prvek mezi místem tření a čelistmi dynamometru, to může zajistit i sama měřená příze obr. 8 a, ale musí mít dostatečnou délku, což vede k problémům při měření méně pružných materiálů, pružným prvkem může být vložená pružina, obr. 8 b nebo Kelvinův elastický model, obr 8 c. Stick and slip efekt může být ovlivněn setrvačností závaží  $m_0$  [kg], tomu částečně zamezuje upsořádání na obr. 8 d, příze prochází přes pohyblivou kladku zanedbatelného odporu, tíha závaží je dvojnásobná  $2 m_0$  [kg].

### 3.1.4. Měření Eulerova tření příze mezi dvěma kladkami

Při měření Eulerova tření příze mezi dvěma kladkami, obr. 9 je příze vedena přes dvě kladky, na kterých jsou vedle sebe přilepeny další příze, mohou být připevněny rovnoběžně s osou kladky nebo mohou být vůči ose kladky natočeny pod určitým úhlem. Kladky mohou být volné nebo fixované, to je vhodné pro měření stick and slip efektu, mohou být dokonce poháněné, v tomto případě je rychlost příze nulová. Síla  $F_0$  [N] je realizována vahou závaží  $m_0$  [kg], výstupní síla  $F$  [N] je měřena senzorem dynamometru.



Obr. 9 Měření Eulerova tření příze mezi dvěma kladkami

[6], [10], [14], [15]

## 3.2. Vlastní měření

### 3.2.1. Návrh experimentu

V tomto experimentu jeden valec je horizontálně upevněn. Normálová zatěžující síla  $F_0$  [N] působící na vzorek je vytvořena závažím o hmotnosti  $m$  [kg]. Síla  $F$  [N] je snímána senzorem dynamometru Instron 4411. Valec byl ovinut nití kruhovým a podélným směrem, koeficient tření mezi nití měřený pod úhlem  $0^\circ$  tj. tangenciálně, a pod úhlem  $90^\circ$  tj. axiálně. [16]



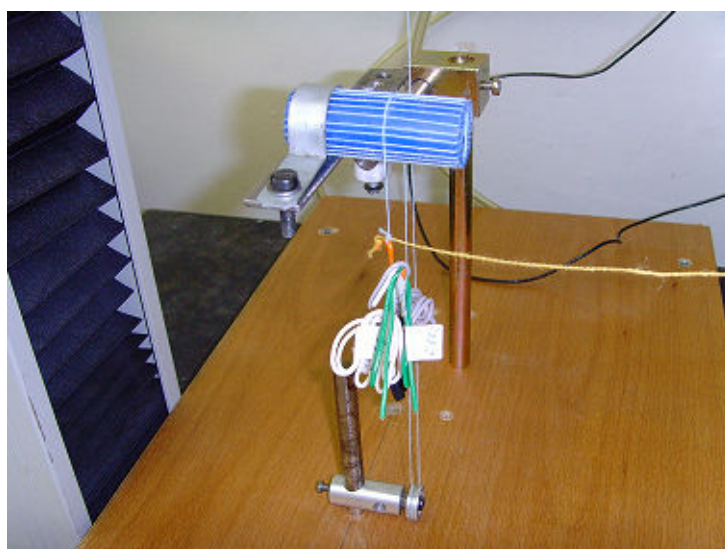
Obr. 12 Měření tření nitě o nit na velkém válečku  
(nitě navinuté na válci axiálně)

Na obr. 12 je fotografie měření třecích vlastností nití na dynamometru INSTRON 4411, kde je:

- 1 – závaží vytvářející předpětí,
- 2 – nit
- 3 – váleček
- 4 – čelist



Obr. 13 Měření tření nitě o nit na velkém válečku  
(nitě navinuté na válci tangenciálně)



Obr. 14 Měření tření nitě o nit na malém válečku  
(nitě navinuté na válci axiálně)

Zkouška tření nití byla uskutečněna na dynamometru INSTRON 4411. Zařízení Instron 4411 je k dispozici na Technické univerzitě v Liberci, a bylo využito pro tuto bakalařskou práci. Univerzální trhací přístroj se nachází v laboratoři katedry textílních struktur. Jedná se o přesné zařízení, u kterého lze nastavit konstantní rychlost odtahu, což je pro experiment velice důležité. Pokud by nebyla splněna tato podmínka, byly by naměřené hodnoty nepřesné. Horní čelisti zajišťovaly rozběh a posouvání nitě a zároveň měřily sílu potřebnou k překonání třecího odporu.

### 3.2.2. Použitý materiál

Pro experiment bylo vyzkoušeno 6 různých nití. Každý pokus byl dvakrát opakován, u každého vzorku bylo prováděno 8 měření. Jako materiál jsem zvolila 100% PAN, 100% POP, 100% ba a jejich směs. Přesně definované použité vzorky jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Vlastnosti zkoumaných nití

Použitý materiál	Jemností vzorků [tex]	Počet zákrutů [m <sup>-1</sup> ]
100 % POP	29,5	637
65 % POP / 35 % ba	29,5	637
50 % POP / 50 % ba	29,5	637
35 % POP / 65 % ba	29,5	637
100 % bavlna	29,5	637
100 % PAN	32 tex × 2	390

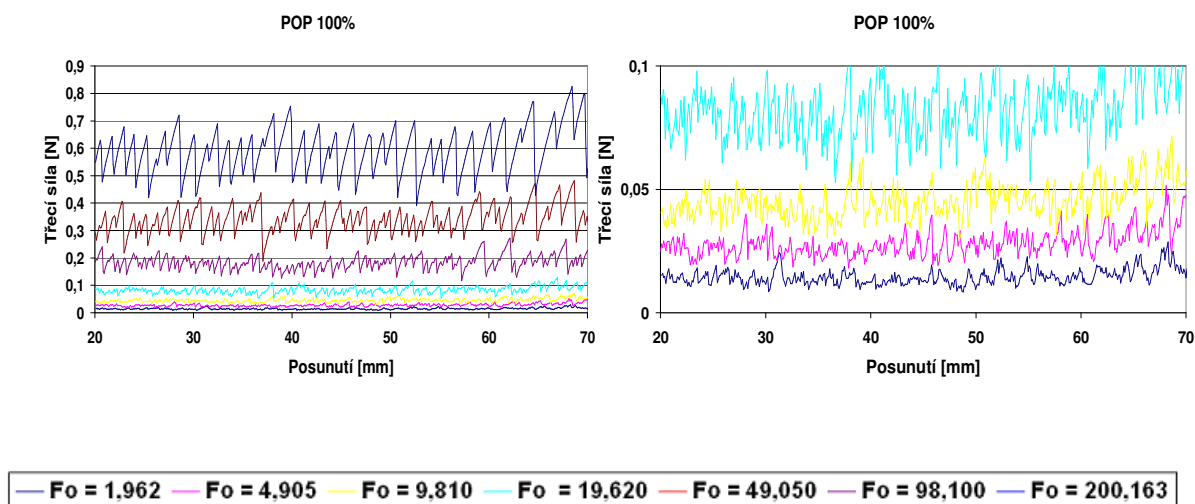
### 3.2.3. Postup měření

Snímací hlava měla rozsah 5 N. Délky: závaží – třecí místo cca 150 - 80 mm (zmenšuje se), kladka – třecí váleček 150 mm, kladka – čelist 200 – 270 mm. Rychlost posunu nitě byla zvolena 2 mm s<sup>-1</sup> (120 mm/min). Posun do konce testu 70 mm. Vstupní tah nitě  $F_0$  [N] byl měněn a zajišťován závažím o hmotnosti: 1 – 0,2 g, 2 – 0,5 g, 3 – 1 g, 4 – 2 g, 5 – 5 g, 6 – 10 g, 7 – 20,404 g.

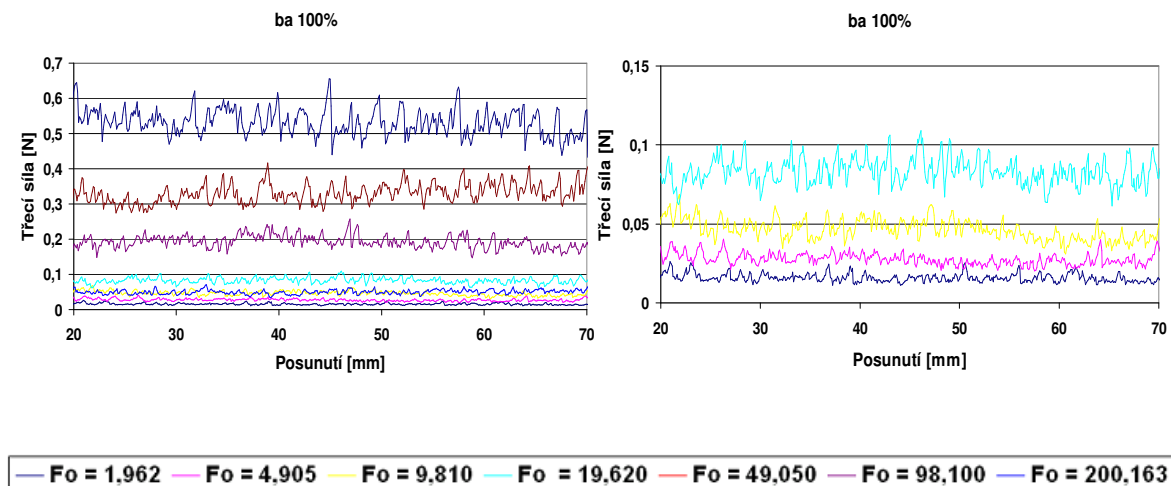
Tření nitě bylo měřeno na válcích o průměru 18 resp. 57 mm, úhel opásání 180°. Koeficient tření mezi nití měřený pod úhlem 0° tj. tangenciálně, a pod úhlem 90° tj. axiálně. Měřena byla výstupní tahová síla  $F$  [N] v okamžiku překonání třecího odporu, tj. staticky.

### 3.3. Výsledky experimentů

Na začátku bych chtěla ukázat průběh třecí síly jedné z nití při působení různého normálového zatížení. Budou vždy uvedeny grafy celého cyklu a vedle nich grafy s počátečním normálovým zatížením.

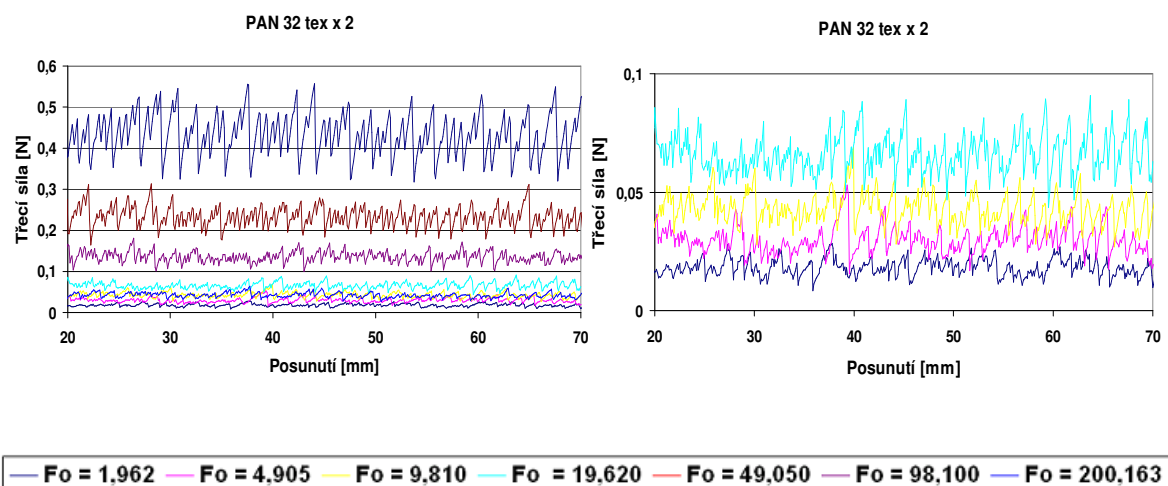


Graf 1. Průběh třecí síly (100% POP) při různém zatížení, axiální návin.

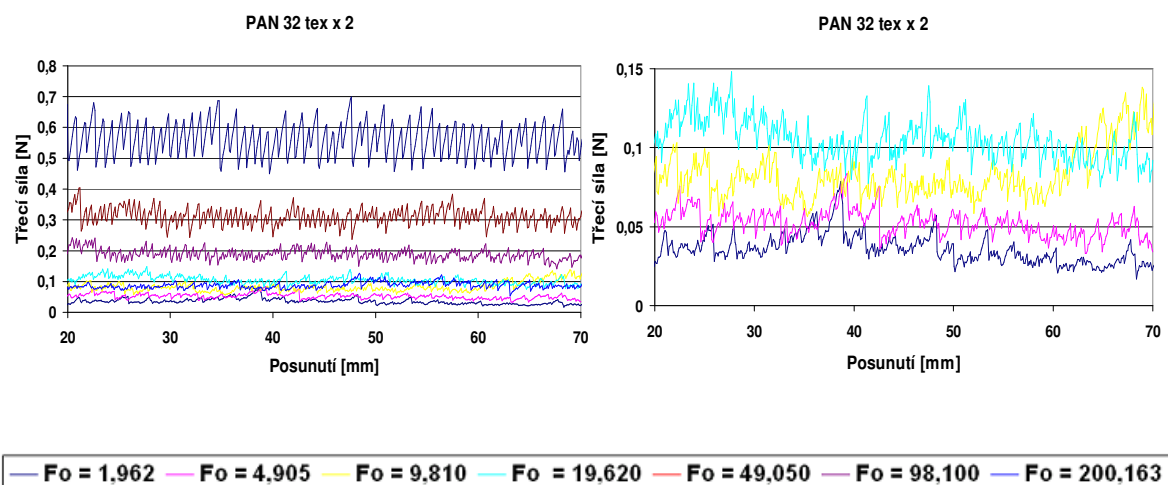


Graf 2. Průběh třecí síly (100% ba) při různém zatížení, axiální návin.



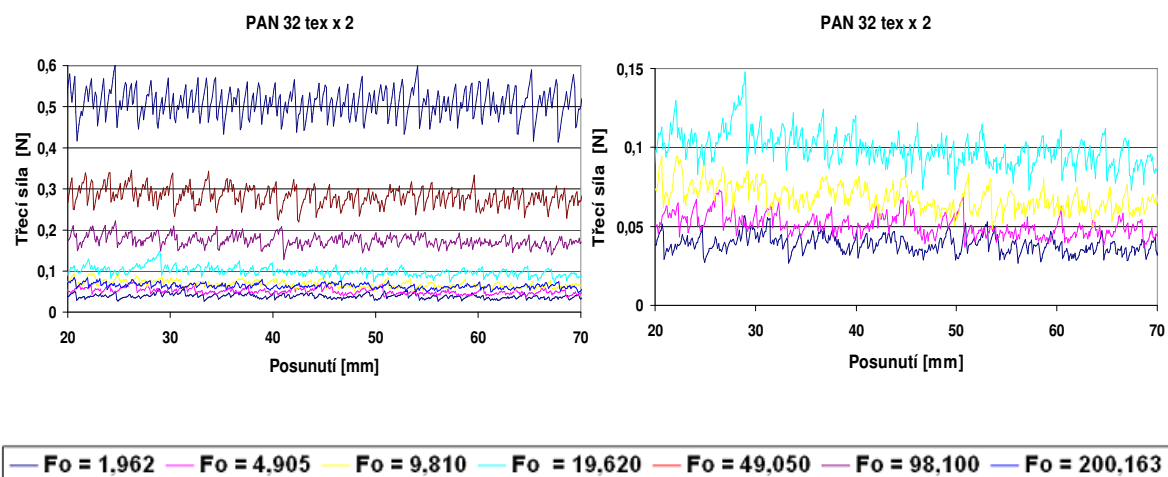


Graf 3. Průběh třecí síly (PAN 32 tex x 2), axiální návin, malý váleček.

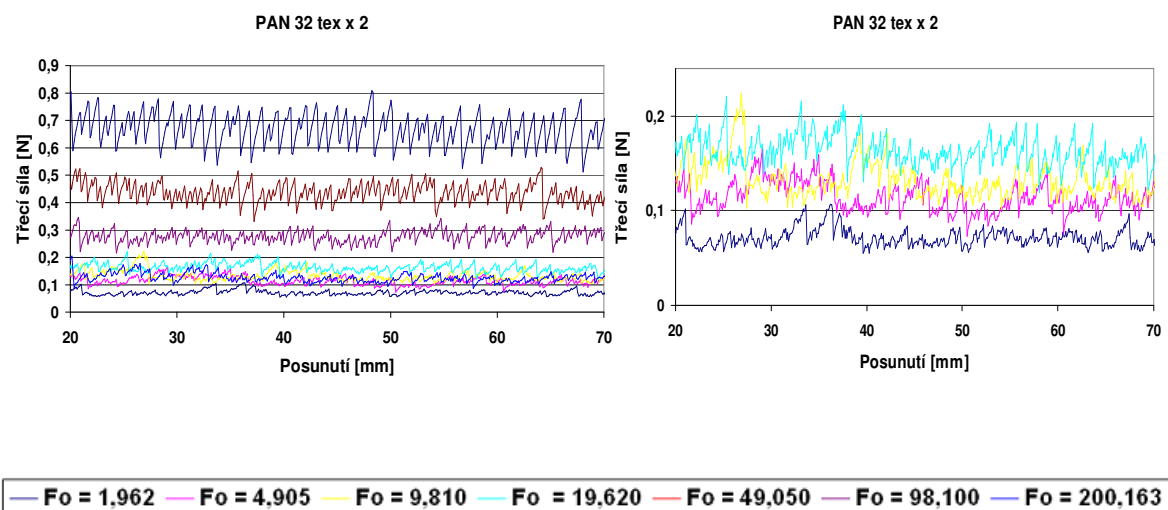


Graf 4. Průběh třecí síly (PAN 32 tex x 2), tangenciální návin, malý váleček.

Dochází zde k výraznému pravidelnému kolísání třecí síly. Při tření vzniká stick-slip efekt neboli tzv. přilepení a uklouznutí.



Graf 5. Průběh třecí síly (PAN 32 tex x 2), axiální návin, velký váleček.



Graf 6. Průběh třecí síly (PAN 32 tex x 2), tangenciální návin, velký váleček

Počet dočasných vazeb mezi elementy těles v kontaktu závisí díky nerovnoměrnostem povrchu na normálové síle. Při malé  $F_n$  je tato plocha malá, při větším přitlaku se vlivem pružné i plastické deformace materiálu zvětší. Zároveň se zvětší i třecí odpor. Tření závisí na normálové síle vzhledem k tomu, že tato síla má rozhodující vliv na plochu skutečného kontaktu po sobě se posouvajících těles. V klidu se může tato plocha vzhledem k technologii materiálů také zvětšovat (to je příčina většího statického tření).

### 3.3.1. Statistické výpočty

V této metodě se vypočítává koeficient tření podle Eulerova vztahu:

$$F = F_0 \times e^{\alpha f} \quad (4)$$

Naměřené hodnoty jsou dosazeny do následujícího vzorce:

$$f = \frac{\ln \frac{F}{F_0}}{\alpha} \quad (5)$$

Variační koeficient se vypočítává podle vztahu:

$$v = \frac{s}{r} \times 100\% \quad (6)$$

$s$ ..... směrodatná odchylka [1]

$r$ ..... průměrná hodnota

Tabulka 2: Zjištěné hodnoty součinitele tření a variačního koeficientu u různých nití

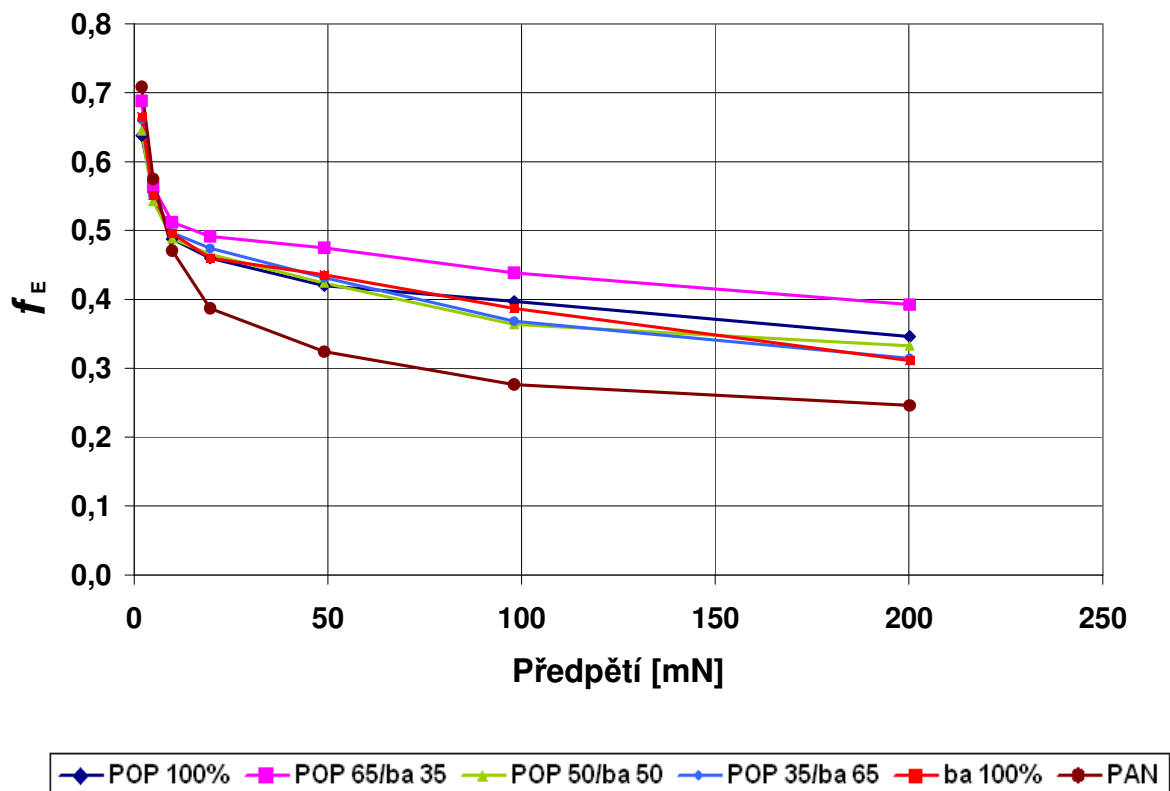
Axiální návin	$F/F_0$	Koef. tření $f_E$	Variační koeficient CV [%]
100 % POP	4,604	0,472	16,062
65 % POP / 35 % ba	5,153	0,509	13,663
50 % POP / 50 % ba	4,541	0,466	12,272
35 % POP / 65 % ba	4,651	0,471	12,665
100 % ba	4,651	0,472	11,245

Tabulka 3: Zjištěné hodnoty součinitele tření a variačního koeficientu u PAN

PAN	$F/F_0$	Koef. tření $f_E$	Variační koeficient CV [%]
Malý válec Axiální návin	4,346	0,427	13,892
Malý válec Tangenciální návin	7,512	0,574	14,384
Velký válec Axiální návin	7,309	0,552	10,447
Velký válec Tangenciální návin	13,600	0,723	10,831

### 3.3.2. Závislost koeficientu tření $f_E$ na druhu použitého materiálu

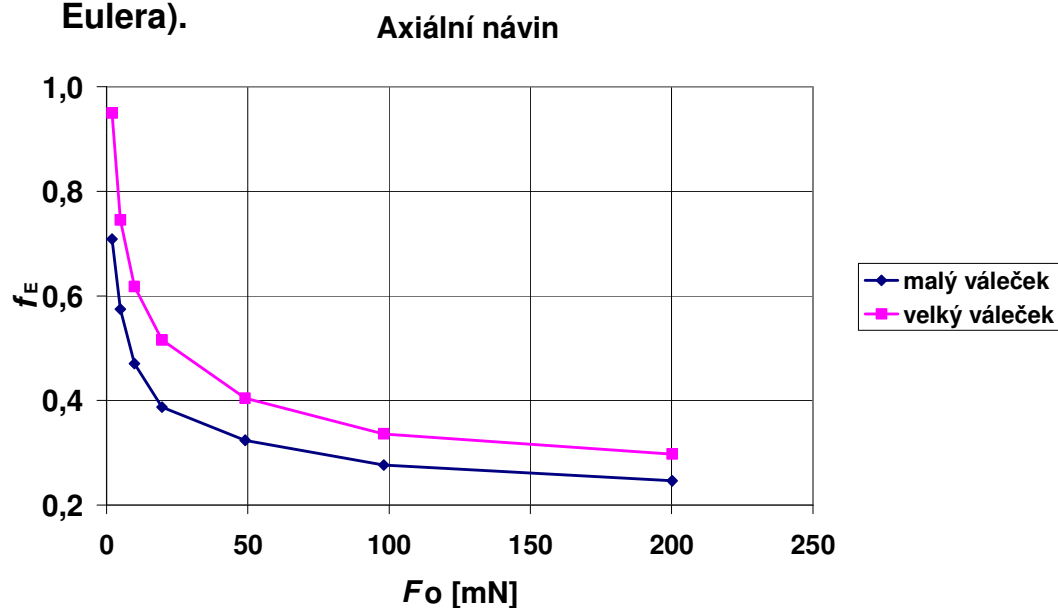
Pro vyjádření závislostí koeficientů tření bude uveden jeden celkový graf pro všechny vzorky, aby jejich třecí chování šlo lépe porovnat.



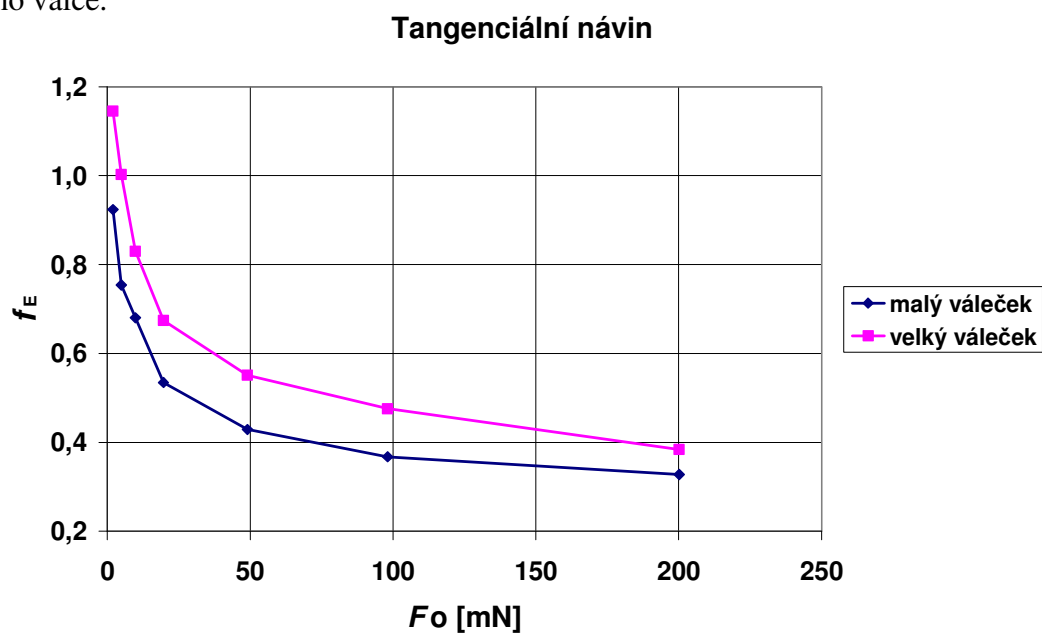
Graf 7. Závislost koeficientu tření, počítaného podle Eulerova vztahu, na druhu použitého materiálu.

Z empirických zkušeností je odpozorováno, že příliš hladký povrch znamená růst koeficientu tření. Z grafu závislosti je vidět, že nejvíce se od ostatních lišil PAN. Nejvyšší koeficient tření byl naměřen u směsové příze 65 % POP / 35 % ba, a nejnižší – PAN. Je to způsobeno tím, že PAN je nejvíce chlupatý. Odstávající vlákna ovlivňují změnu tahu nitě  $F$  [N] různě při různých hodnotách  $F_0$  [N].

### 3.3.3. Vliv průměru použitého válce na součinitel tření (podle Eulerova).



Graf 8. Závislost koeficientu tření, počítaného podle Eulerova vztahu, na průměru použitého válce.

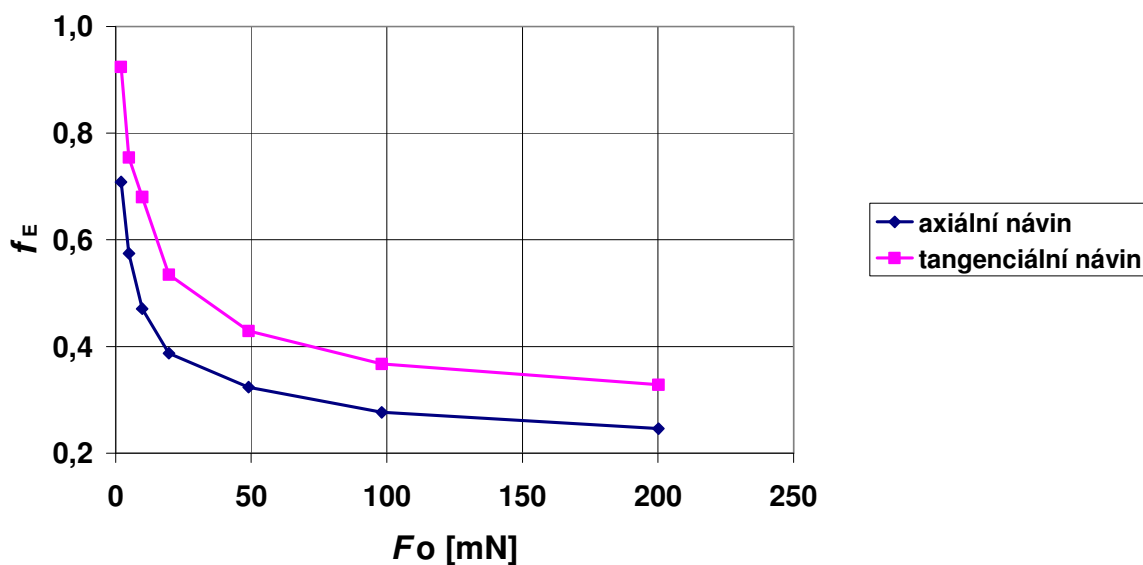


Graf 9. Závislost koeficientu tření, počítaného podle Eulerova vztahu, na průměru použitého válce.

Graf závislosti znázorňuje, že součinitel tření u velkého válečku je vyšší než u válečku s menším průměrem jak u axiálního tak i u tangenciálního návinu. Je to způsobeno tím, že tření je závislé na ploše kontaktu těles. S větším průměrem se zvyšuje počet „kontaktních“ bodů na jednotku plochy a proto tření roste.

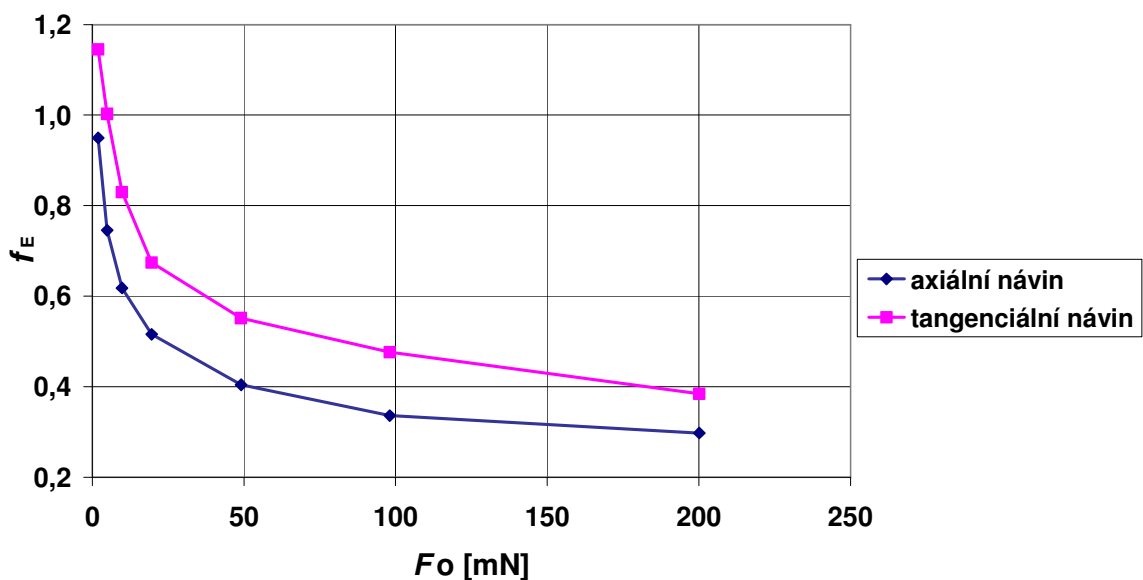
### 3.3.4. Vliv směru smýkání a průměru použitého válce na součinitel tření (podle Eulera).

**Malý váleček**



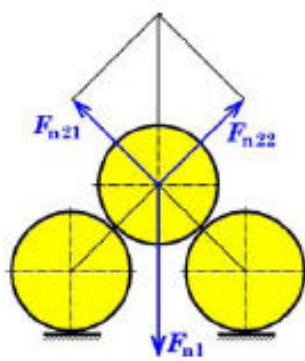
Graf 10. Porovnání závislost koeficientu tření u tangenciálního (vliv „žlábkového“ tření) a axiálního návinu, počítaného podle Eulerova vztahu, na průměr použitého válce.

**Velký váleček**



Graf 11. Porovnání závislost koeficientu tření u tangenciálního (vliv „žlábkového“ tření) a axiálního návinu, počítaného podle Eulerova vztahu, na průměr použitého válce.

Graf závislosti koeficientu tření na směru smýkání ukazuje, že součinitel tření u tangenciálního návínu je vyšší než u axiálního návínu. Je to způsobeno tím, že nit se pohybuje ve směru os nití, které jsou navinuté na váleček

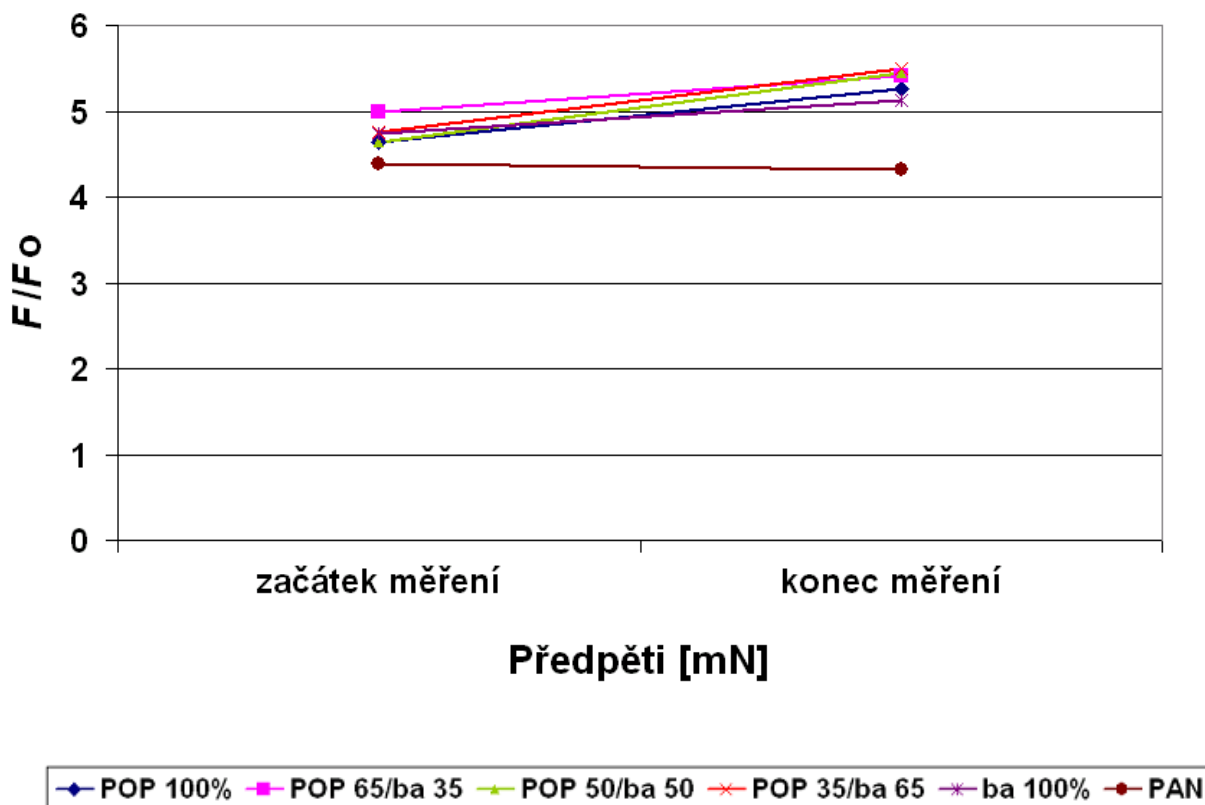


Obr. 15 Vliv geometrie povrchu na třecí odpor.

Na obr. 15 je znázorněn vliv geometrie povrchu plošné textilie na třecí odpor. Indexem 1 jsou označeny „vnější“ síly, tj. normálová síla, kterou jsou k sobě obě textilie přitlačovány  $F_{n1}$ ,  $F_{n2}$  – normálová síla mezi nitěmi v kontaktu. Z jednoduchého silového rozboru vyplývá, že  $F_{n21} + F_{n22} > F_{n1}$ , takže třecí odpor nitě, která se posouvá ve „žlábk“ vytvořeném dvojicí nití, se zvětší. [9]

### 3.3.5. Vliv opotřebení materiálu na třecí odpor

Obecně je opotřebení chápáno jako odstraňování povrchových vrstev materiálů při jejich vzájemném relativním pohybu.

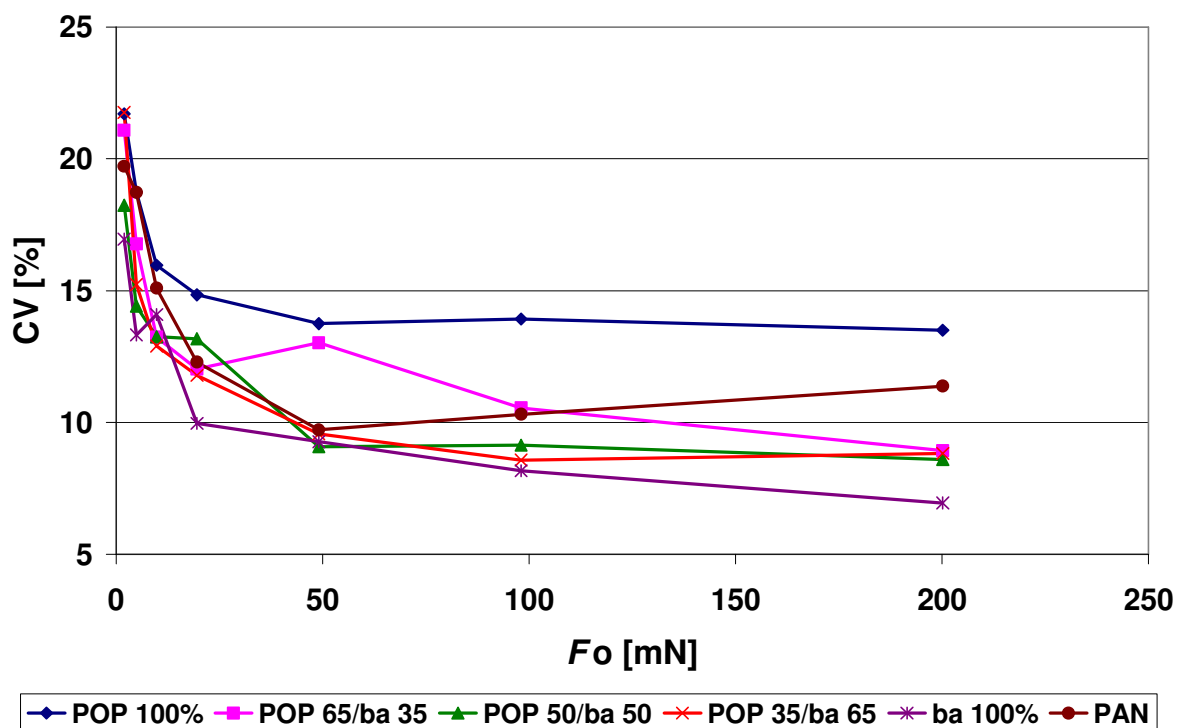


Graf 12. Vliv opakovaného smýkání nití na třecí odpor při stejném  $F_0$

Experiment byl při předpětí 9,81 N opakován ještě jednou na konci skupiny měření, tj. až po experimentu s předpětím 200,16 N. Cílem bylo zjistit, jak je třecí odpor ovlivněn opotřebením materiálu. Výsledky na grafu 12 ukazují, že tento vliv není velký, nicméně že existuje jednoznačná tendence ke zvýšení třecího odporu u jednoduchých přízí (směsi POP/ba) a naopak ke snížení odporu u PAN skané příze. Oboje může mít racionální důvod: snížení vlivu odstávajících vláken (chlupatosti) může bezprostředně součinitel tření snížit, nebo také prostřednictvím změny skutečné plochy kontaktu naopak vést ke zvýšení třecího odporu.



### 3.3.6. Vliv materiálu na třecí odpor



Graf 13. Vliv druhu použitého materiálu na třecí odpor

U grafu 13 si lze povšimnout poklesu variačního koeficientu  $CV$  při rostoucím vstupním tahu  $F_0$ .  $CV$  charakterizuje kolísání třecího odporu, způsobeného různými vlivy, které se výsledně projevuje jako tzv. stisk-slip efekt (grafy 1-6).

## 4. Závěr

Tato bakalařská práce byla zaměřena na problematiku tření nitě o nit. Jsou zde shrnuty poznatky o tření, jeho významu a způsobu hodnocení. Je zde popsán koeficient tření, stick-slip efekt, různé metody měření koeficientů tření a faktory ovlivňující tření.

Hlavním úkolem této práce bylo vytvoření jednoduchého měřicího přístroje k určování koeficientu tření. Měření bylo prováděno na dynamometru INSTRON 4411.

V experimentální části se potvrdil předpoklad výrazného vlivu různých faktorů ovlivňujících vlastnosti příze. Bylo zjištěno, že nitě s menší chlupatostí mají vyšší koeficient tření, to znamená, že vlákna v přízi jsou v soudružnosti a tím se snižuje možnost vytváření žmolků na povrchu plošné textilie.

Pro další poznatky v této oblasti bylo zajímavé srovnat, jak se měnily hodnoty součinitele tření v souvislosti od plochy kontaktu a vlivu směru smýkání.

Výsledkem práce bylo zjištění velikosti třecí síly a posouzení vhodnosti materiálu pro další zpracování a použití. K nejvyšším hodnotám třecí síly, tedy patrně i k největšímu opotřebení materiálu, docházelo při zatížení 200 mN. K nejlepším výsledkům došlo u směsové příze 65 % POP / 35 % ba. U PAN je koeficient tření nižší, na začátku měření je stejně vysoký jak u jiných vzorků, dále mírně klesá.

Jelikož tření ovlivňuje velké množství vlivů, je možné měření provádět za různých podmínek a zjišťovat, jakým dílem působí dané vlastnosti na koeficient tření. Já bych doporučila pokračovat dále v měření tímto způsobem. Uvedenou metodu by bylo možné rozšířit a zkusit měřit třecí vlastnosti, když se váleček bude otáčet (v literatuře už byly podobné metody publikovány).

Ještě by bylo možné přemýšlet o metodách snížení koeficientu tření při tření nitě o nit, aby se dalo lépe zpracovávat příze při tkaní a pletení.

## Seznam použité literatury:

- [1] Neckář, B.: Příze. Tvorba, struktura, vlastnosti, SNTL Praha 1990
- [2] Oliva, J., Olexa, J.: Úvod do teorie tření, opotřebení a kontaktního porušování, ČVUT Praha 1978
- [3] Hladík, V., Kozel, T., Miklas, Z.: Textilní materiály, SNTL Praha 1997
- [4] Horák Z., Krupka F., Šindelář V.: Technická fyzika 1960
- [5] Jiří Mikulčák a kolektiv: Matematické, fyzikální a chemické tabulky, Statní pedagogické nakladatelství Praha 1988
- [6] Radko Kováč a Filip Konečný: Woven Fabric – To – Fabric Slip 2<sup>od</sup> International textile, clothing and design conference – Magic World of Textiles, Dubrovnik, Croatia
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/Stick-slip> (Datum 07.03.2008)
- [8] Kolektiv autorů: Tření v textiliích. Soubor přednášek ze semináře. Dům techniky v Pardubicích 5. února 1969
- [9] Kovář R.: Struktura a vlastnosti plošných textilií. TU v Liberci 2003
- [10] Strutex – 8. Národní konference 2002
- [11] Farska Lea: Zařízení pro měření koeficientu tření u textilií [diplomová práce], TU Liberec, fakulta textilní, 2004
- [12] Tarasová O.: Porovnání metod stanovení žmolovitosti tkanin ze syntetických materiálů [Diplomová práce], VŠST Liberec 1992
- [13] Komínková V.: Tření nití zpracovávaných pletařskou technologií [Diplomová práce], TU v Liberci 2003
- [14] Kovář R.: Teorie pletení. TU v Liberci 2006-2007
- [15] Kovář R.: Measuring of yarn friction. TU v Liberci
- [16] L. Liu, J. Chen, B. Zhu, T. X. Yu, X. M. Tao and J. Cao : The yarn-to-yarn friction of woven fabrics 2004

# **PŘÍLOHA 1**

## **TABULKY**

**Tabulka 1: Zjištěné hodnoty pro 100 % POP**

100 % POP							
Hmotnost závaží $m$ [g]	0,2	0,5	1	2	5	10	20,404
Průměr předpětí $F_0$ [mN]	1,96	4,91	9,81	19,62	49,05	98,10	200,16
Výstupní tahová síla $F$ [mN]	14,564	28,145	45,514	83,162	183,675	341,797	592,926
Koeficient tření $f$ [mN]	7,423	5,738	4,640	4,239	3,745	3,484	2,962
Koeficient tření podle Eulerova vztahu $f_E$ [mN]	0,638	0,556	0,488	0,460	0,420	0,397	0,346
Směrodatná odchylka [1]	3,162	5,275	7,266	12,345	25,258	47,607	80,016
Variační koeficient [%]	21,708	18,741	15,963	14,844	13,752	13,929	13,495

**Tabulka 2: Zjištěné hodnoty pro 65 % POP / 35 % ba**

65 % POP / 35 % ba							
Hmotnost závaží $m$ [g]	0,2	0,5	1	2	5	10	20,404
Průměr předpětí $F_0$ [mN]	1,96	4,91	9,81	19,62	49,05	98,10	200,16
Výstupní tahová síla $F$ [mN]	17,034	28,812	49,001	91,836	218,125	388,936	686,560
Koeficient tření $f$ [mN]	8,682	5,874	4,995	4,681	4,447	3,965	3,430
Koeficient tření podle Eulerova vztahu $f_E$ [mN]	0,688	0,564	0,512	0,491	0,475	0,438	0,392
Směrodatná odchylka [1]	3,592	4,832	6,487	11,049	28,410	41,048	61,341
Variační koeficient [%]	21,085	16,771	13,238	12,031	13,025	10,554	8,935

**Tabulka 3: Zjištěné hodnoty pro 50 % POP / 50 % ba**

50 % POP / 50 % ba							
Hmotnost závaží $m$ [g]	0,2	0,5	1	2	5	10	20,404
Průměr předpětí $F_0$ [mN]	1,96	4,91	9,81	19,62	49,05	98,10	200,16
Výstupní tahová síla $F$ [mN]	14,876	26,966	45,476	84,617	185,736	307,331	568,643
Koeficient tření $f$ [mN]	7,582	5,498	4,636	4,313	3,787	3,133	2,841
Koeficient tření podle Eulerova vztahu $f_E$ [mN]	0,645	0,542	0,488	0,465	0,424	0,363	0,332
Směrodatná odchylka [1]	2,714	3,887	6,026	11,152	16,863	28,086	48,898
Variační koeficient [%]	18,242	14,417	13,251	13,180	9,079	9,139	8,599

**Tabulka 4: Zjištěné hodnoty pro 35 % POP / 65 % ba**

35 % POP / 65 % ba							
Hmotnost závaží $m$ [g]	0,2	0,5	1	2	5	10	20,404
Průměr předpětí $F_0$ [mN]	1,96	4,91	9,81	19,62	49,05	98,10	200,16
Výstupní tahová síla $F$ [mN]	15,666	27,647	46,642	86,962	190,286	312,094	537,441
Koeficient tření $f$ [mN]	7,985	5,636	4,755	4,432	3,879	3,181	2,685
Koeficient tření podle Eulerova vztahu $f_E$ [mN]	0,661	0,550	0,496	0,474	0,432	0,368	0,314
Směrodatná odchylka [1]	3,409	4,211	6,018	10,247	18,209	26,764	47,444
Variační koeficient [%]	21,763	15,231	12,901	11,784	9,569	8,576	8,828

**Tabulka 5: Zjištěné hodnoty pro 100 % ba**

100 % ba							
Hmotnost závaží $m$ [g]	0,2	0,5	1	2	5	10	20,404
Průměr předpětí $F_0$ [mN]	1,96	4,91	9,81	19,62	49,05	98,10	200,16
Výstupní tahová síla $F$ [mN]	15,860	27,705	46,557	83,167	192,732	330,591	532,357
Koeficient tření $f$ [mN]	8,084	5,648	4,746	4,239	3,929	3,370	2,660
Koeficient tření podle Eulerova vztahu $f_E$ [mN]	0,665	0,551	0,496	0,460	0,436	0,387	0,311
Směrodatná odchylka [1]	2,688	3,690	6,561	8,291	17,864	27,010	36,982
Variační koeficient [%]	16,949	13,319	14,093	9,969	9,269	8,170	6,947

**Tabulka 6: Zjištěné hodnoty pro 100 % PAN, malý válec, axiální návin**

100 % PAN							
Hmotnost závaží $m$ [g]	0,2	0,5	1	2	5	10	20,404
Průměr předpětí $F_0$ [mN]	1,96	4,91	9,81	19,62	49,05	98,10	200,16
Výstupní tahová síla $F$ [mN]	18,169	29,826	43,031	66,206	135,711	233,899	433,612
Koeficient tření $f$ [mN]	9,260	6,081	4,386	3,374	2,767	2,384	2,166
Koeficient tření podle Eulerova vztahu $f_E$ [mN]	0,708	0,575	0,471	0,387	0,324	0,277	0,246
Směrodatná odchylka [1]	3,583	5,584	6,496	8,137	13,193	24,114	49,364
Variační koeficient [%]	19,721	18,722	15,096	12,290	9,721	10,310	11,384

**Tabulka 7: Zjištěné hodnoty pro 100 % PAN, malý válec, tangenciální návin**

100 % PAN							
Hmotnost závaží $m$ [g]	0,2	0,5	1	2	5	10	20,404
Průměr předpětí $F_0$ [mN]	1,96	4,91	9,81	19,62	49,05	98,10	200,16
Výstupní tahová síla $F$ [mN]	35,761	52,447	83,156	105,239	188,700	311,156	560,990
Koeficient tření $f$ [mN]	18,227	10,692	8,477	5,364	3,847	3,172	2,803
Koeficient tření podle Eulerova vztahu $f_E$ [mN]	0,924	0,754	0,680	0,535	0,429	0,367	0,328
Směrodatná odchylka [1]	9,267	9,318	15,984	12,989	17,494	26,903	52,913
Variační koeficient [%]	25,913	15,861	19,221	12,342	9,271	8,646	9,432

**Tabulka 8: Zjištěné hodnoty pro 100 % PAN, velký válec, axiální návin**

100 % PAN							
Hmotnost závaží $m$ [g]	0,2	0,5	1	2	5	10	20,404
Průměr předpětí $F_0$ [mN]	1,96	4,91	9,81	19,62	49,05	98,10	200,16
Výstupní tahová síla $F$ [mN]	38,759	51,018	68,387	99,136	174,591	281,911	509,756
Koeficient tření $f$ [mN]	19,755	10,401	6,971	5,053	3,559	2,874	2,547
Koeficient tření podle Eulerova vztahu $f_E$ [mN]	0,950	0,745	0,618	0,516	0,404	0,336	0,298
Směrodatná odchylka [1]	5,407	6,829	8,359	10,832	13,713	22,962	33,849
Variační koeficient [%]	13,951	13,385	12,223	10,926	7,854	8,145	6,640

**Tabulka 9: Zjištěné hodnoty pro 100 % PAN, velký válec, tangenciální návin**

100 % PAN							
Hmotnost závaží $m$ [g]	0,2	0,5	1	2	5	10	20,404
Průměr předpětí $F_0$ [mN]	1,96	4,91	9,81	19,62	49,05	98,10	200,16
Výstupní tahová síla $F$ [mN]	71,628	114,542	133,084	163,163	277,334	437,435	669,121
Koeficient tření $f$ [mN]	36,507	23,352	13,566	8,316	5,654	4,459	3,343
Koeficient tření podle Eulerova vztahu $f_E$ [mN]	1,145	1,003	0,830	0,674	0,551	0,476	0,384
Směrodatná odchylka [1]	8,400	15,510	14,705	16,781	30,270	36,455	60,773
Variační koeficient [%]	13,263	13,859	14,496	9,826	8,155	7,906	8,313